



Pendugaan *hotspot* sebagai indikator kebakaran hutan di Kalimantan berdasarkan faktor iklim

Hotspot assumption as a forest fire indicator in Kalimantan based on climate factor

Elania Aflahah^a, Rini Hidayati^b, Rahmat Hidayat^b, Furqon Alfahmi^c

^a Program Studi Klimatologi Terapan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

^b Departemen Geofisika dan Meteorologi, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

^c Pusat Meteorologi Maritim, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Kemayoran, Jakarta, 10720, Indonesia

Article Info:

Received: 01 - 05 - 2018

Accepted: 11 - 07 - 2018

Keywords:

climate factor, forest fire, hotspot, visibility

Corresponding Author:

Elania Aflahah
Program Studi Klimatologi
Terapan, Sekolah Pascasarjana,
Institut Pertanian Bogor
Email:
elaniaaflahah@gmail.com

Abstract: *The occurrence of forest fire Indonesia especially in Kalimantan is a potential threat to sustainable development. The purpose of this research is a early warning system in forest fire in Kalimantan, by estimating the hotspot as indicators based on visibility and climate data. This research using F test, T test, Multiple Linear Regression analysis, Principle Component Analysis (PCA) and Principle Component Regression Analysis (PCR) Visibility, hotspot and temperature data have related, meaning the very big effect with forest fire incident. Test result of T test and ANOVA P-Value less than 0.05, there is influence between independent variables in this visibility and climate factor against dependent variables in this is the number of hotspots. Relation of climate variables to 10 days forest fire in Central Kalimantan R^2 adjusted is 0.4699 with F calculate larger from F table is 160.0940. Relation of climate variables to dasarian forest fire in central Kalimantan as early warning system has R^2 adjusted that is 0.4176 with f calculate larger from table F of 129.3551. Conclusion forest fires following monsoon character and being affected by el nino events, visibility has a closer and can be used as a indicator of forest fire and land intensity, hotspot in a relationship has a close connection with visibility and climate condition at the same decade period, used equations for early warning system for predicted fire genesis indicates with hotspot amount, compiled from climate condition 10 days.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Aflahah E, Hidayati R, Hidayat R, Alfahmi F. 2019 Pendugaan *hotspot* sebagai indikator kebakaran hutan di Kalimantan berdasarkan faktor iklim. JPSL 9(2): 405-418. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.2.405-418>.

PENDAHULUAN

Kebakaran lahan dan hutan merupakan suatu kejadian yang sering terjadi di wilayah Indonesia, khususnya di Pulau Kalimantan. Kebakaran hutan merupakan salah satu penyebab berkurangnya kualitas ekosistem alam, seperti kerusakan lahan hutan dan vegetasi (Liew *et al.* 1998), perubahan komposisi ekosistem hutan (Chuvieco *et al.* 2009), fisiologi tanaman (Choong 1997), serta gangguan kesehatan masyarakat sekitar lokasi kebakaran (Ferguson *et al.* 1998), sehingga kebakaran hutan di Kalimantan merupakan ancaman potensial bagi pembangunan yang berkelanjutan. Bencana yang terjadi di musim

kemarau menyebabkan kerusakan ekosistem dan kerugian aspek ekonomi, sosial dan budaya. Tercatat bahwa kebakaran lahan dan hutan merupakan suatu kejadian yang selalu berulang di wilayah Indonesia, khususnya di Kalimantan.

Kejadian kebakaran lahan dan hutan dengan intensitas yang tinggi di Indonesia khususnya pulau Kalimantan pada tahun 1982 sampai dengan 1983 bertepatan dengan kejadian El Nino kuat. El Nino merupakan fenomena global yang menjadi salah satu penyebab kekeringan di Indonesia. Beberapa studi menyimpulkan bahwa keragaman curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh variabilitas antar tahunan yang disebut sebagai *El Nino-Southern Oscillation*. Selain kejadian El Nino tahun 1982-1983, kebakaran hebat juga terjadi pada kejadian El Nino 1987, 1991, 1994 dan 1997 hingga 1998 (Bowen *et al.* 2001; van der Werf 2008).

Kebakaran lahan dan hutan biasanya terjadi pada bulan-bulan kering, yaitu bulan Mei hingga Oktober, dimana bulan tersebut merupakan periode curah hujan terendah, dan dipengaruhi oleh ENSO, karena angin Monsun Timur yang bergerak pada periode ini melewati wilayah yang sebagian besar adalah gurun di Australia. Monsun Timur terjadi akibat tekanan rendah di Asia dan tekanan tinggi di Australia, maka pada periode JJA bertiup angin dari tekanan tinggi di benua Australia menuju ke tekanan rendah di Asia (Arini *et al.* 2014).

Periode 2006 sampai dengan 2010 NOAA mencatat puncak jumlah titik *hotspot* dan kebakaran hutan sebanyak 146 264 titik dengan luas kebakaran hutan 32 200 ha. Kebakaran yang hebat dan sulit dikendalikan umumnya terjadi di lahan gambut (Jayantika 2013). Dampak kebakaran hutan dan lahan berpengaruh secara langsung dan tidak langsung terhadap manusia dan lingkungannya baik di Indonesia maupun luar negeri (Marlier *et al.* 2015). *Asian Development Bank* (1999) melaporkan bahwa kerugian akibat kebakaran lahan dan hutan pada tahun 1997/1998 mencapai sebesar 10 milyar dolar AS. Kebakaran tersebut meliputi lahan gambut seluas sekitar 13 450 ha dan kebakaran lahan pertanian seluas 6 069 ha. Selain itu, kebakaran pada tahun 2015 juga menyebabkan kerugian ekonomi sebesar USD 16 milyar (WBG 2016). Tidak hanya kerugian ekonomi, tetapi juga mempengaruhi kesehatan masyarakat (Watts *et al.* 2012) dan mengganggu hubungan diplomatik Indonesia dengan negara tetangga, seperti Singapura dan Malaysia. Indonesia telah meratifikasi perjanjian ASEAN dalam pencemaran asap lintas batas (*ASEAN agreement on transboundary haze pollution*) pada tanggal 16 September 2014, sehingga berkewajiban untuk mencegah terjadi kebakaran dan asap yang dapat menimbulkan pencemaran asap di Asia Tenggara (Setyaki *et al.* 2013).

Penelitian ini selain menggunakan data *visibility*, dimana *visibility* digunakan secara luas dalam meteorologi untuk mengidentifikasi karakteristik massa udara, untuk kebutuhan meteorologi sinoptik dan klimatologi (WMO 1990). Emisi GRK semakin meningkat karena adanya kebakaran hutan. Emisi GRK ini tercermin dari nilai *visibility*. Bagi keperluan praktis, data *visibility* lebih mudah diperoleh dibandingkan dengan data *hotspot*. Jika data *visibility* mempunyai korelasi yang tinggi dengan *hotspot*, maka data visibilitas menjadi bermanfaat untuk menduga intensitas kebakaran.

Data *Airport Visibility Report* selalu tersedia di Bandara sebagai panduan teknis penerbangan (Field *et al.* 2004; Field *et al.* 2009). Hubungan *hotspot* dengan kondisi iklim yang berupa temperatur, curah hujan dan *visibility* diperlukan untuk mengetahui gambaran kejadian kebakaran hutan dan lahan. Sistem Peringatan Dini (*early warning system*) dapat diindikasikan untuk mengetahui periode potensial kebakaran hutan (Goldammer 2009).

Kalimantan dipilih sebagai studi kasus kebakaran karena memiliki hutan primer dan sekunder yang digunakan untuk melindungi berbagai bencana alam. Iklim merupakan faktor alam yang dapat memengaruhi bagaimana, dimana dan kapan peristiwa kebakaran dapat berlangsung (Fuller 1991). Kondisi iklim (suhu, kelembapan, curah hujan, dan kecepatan angin) di suatu tempat akan mempengaruhi tingkat kekeringan bahan bakar, penjaralan api, ketersediaan oksigen dan lain-lain (Syaufina dan Sukmana 2008). Penelitian ini menggunakan data *hotspot* dan iklim (suhu, curah hujan dan *visibility*). Data *hotspot* masih sering digunakan sebagai indikator kejadian kebakaran hutan dan lahan, meskipun tidak sepenuhnya menunjukkan luas

kebakaran. Penelitian ini memanfaatkan data *airport visibility report* sebagai indikator kejadian kebakaran hutan karena data *airport visibility report* mudah didapatkan (Field *et al.* 2004; Field *et al.* 2009).

Data *Airport Visibility Report* selalu tersedia di Bandara sebagai panduan teknis penerbangan. Hubungan *hotspot* dengan kondisi iklim diperlukan untuk mengetahui gambaran kejadian kebakaran hutan dan lahan dengan faktor iklim suhu, curah hujan dan *visibility* di Kalimantan. Sistem Peringatan Dini (*Early Warning System*) dapat diindikasikan untuk mengetahui periode potensial kebakaran hutan (Goldammer 2009). Untuk mendapatkan hasil yang tepat, dibutuhkan informasi yang relevan, salah satunya adalah hubungan antara sejarah kejadian kebakaran hutan sebelumnya dengan faktor iklim dan cuaca sebagai salah satu faktor utama. Diharapkan informasi yang didapat akan bermanfaat untuk mengambil tindakan yang tepat dalam pencegahan, pengendalian, dan penanganan kebakaran hutan setelahnya.

Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem peringatan dini (*early warning system*) kejadian kebakaran hutan di Kalimantan, dengan cara menduga jumlah *hotspot* berdasarkan data *visibility* dan kondisi iklim. Sistem peringatan dini yang dihasilkan diharapkan dapat menjadi dasar dalam upaya mengurangi tingkat kerugian kebakaran hutan yang telah dikembangkan menerapkan keterkaitan kebakaran hutan.

METODE

Penelitian difokuskan di bagian Kalimantan (4^0 LU – 6^0 LS, 108^0 BT – 119^0 BT). Kalimantan mengalami kebakaran paling parah, dimana di bagian selatan memiliki tipe curah hujan monsun, sedangkan di bagian utara memiliki distribusi curah hujan bimoidal dengan dua puncak musim hujan (ekuatorial) biasanya terjadi sekitar bulan Maret dan Oktober. Kajian kebakaran hutan dan lahan menggunakan data *airport visibility report* atau laporan jarak penglihatan pesawat (sumber: www.ncdc.noaa.gov/data-access/land-based-station-data/land-based-datasets), data *hotspot*, suhu, curah hujan sejak tahun 2007 sampai dengan 2016 yang diambil dari data *synoptic* GSOD harian yang kemudian di rata-rata menjadi data bulanan. Data synop ini merupakan data diferensiasi dari NOAA *Global Summary Of the Day* yang dapat diakses melalui <https://www.ogimet.com/gsodc.phtml.en>. *Airport Visibility Report* menyediakan catatan pembakaran biomassa kuantitatif terpanjang yang tersedia di Indonesia dan mempengaruhi data suhu, curah hujan dan *hotspot*. Selain itu data *visibility* lebih mudah didapat sehingga dalam penelitian ini digunakan sebagai prediktor.

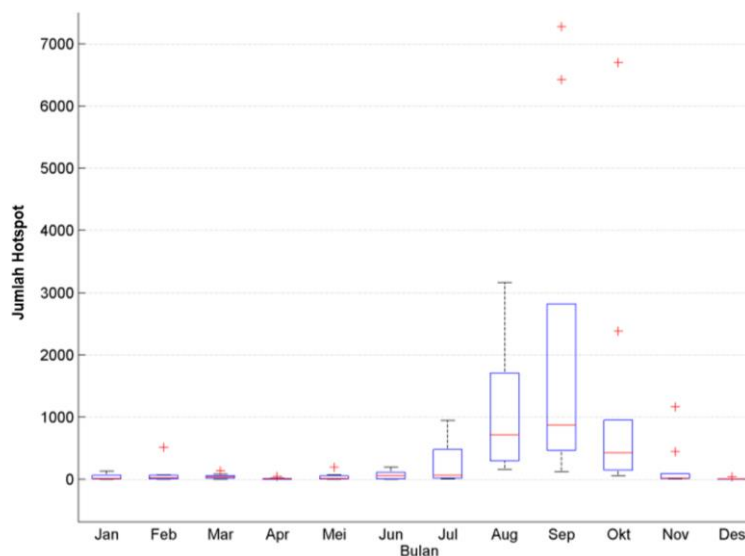
Penelitian ini menggunakan data bulanan dari masing-masing provinsi di Kalimantan, serta Hutan Dasarian untuk Provinsi Kalimantan Tengah yang digunakan sebagai studi kasus penelitian dalam membangun persamaan untuk peringatan dini dari tahun 2007 sampai dengan 2016. Persamaan model kebakaran hutan yang terjadi di setiap provinsi dianalisis dengan program statistik XLSTAT. Hasil dugaan parameter selanjutnya dianalisis lebih lanjut. Uji F dan Uji T digunakan untuk menguji pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat baik secara bersama-sama maupun secara individu. Persamaan ini dibangun dengan menggunakan analisis regresi linier berganda, analisis komponen utama (PCA) dan analisis komponen regresi (PCR) sedangkan plot grafik 3D menggunakan *software* Minitab 16. Analisis faktor PCA dilakukan untuk menentukan jumlah komponen matrik yang akan digunakan, bobot dari komponen yang diperoleh digunakan untuk menghitung nilai variabel iklim sehingga diperoleh matrik baru. Setelah mendapatkan matrik baru dilakukan analisis korelasi PCR untuk perhitungan model hubungan faktor iklim dengan jumlah *hotspot* dan serta beberapa parameter statistik seperti R, R^2 , SE dan F. Hubungan *hotspot*, *visibility* dan faktor iklim digunakan untuk mencari persamaan yang terbaik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi Musiman terhadap Kejadian Kebakaran Hutan

Variasi musiman jumlah *hotspot* bulanan di Kalimantan (Gambar 1), dipengaruhi oleh fenomena monsun. Curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh monsun yang digerakkan oleh adanya sel tekanan tinggi dan sel tekanan rendah di benua Asia dan Australia secara bergantian. Musim DJF di Belahan Bumi Utara

terjadi musim dingin akibatnya terjadi sel tekanan tinggi di Benua Asia, sedangkan di Belahan Bumi Selatan pada waktu yang sama terjadi musim panas, akibatnya terjadi sel tekanan rendah di Benua Australia. Oleh karena itu, terdapat perbedaan tekanan udara di kedua benua tersebut, maka pada periode DJF bertiup angin dari tekanan tinggi di Asia menuju ke tekanan rendah di Australia, angin ini disebut Monsun Barat atau Monsun Barat Laut (Chang dan Lau 1980).



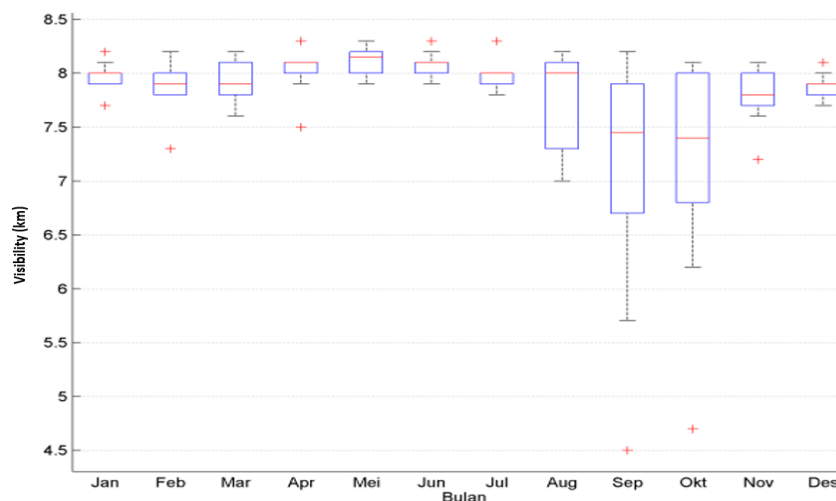
Gambar 1 Jumlah *hotspot* rata-rata bulanan di Kalimantan

Ada dua ciri utama iklim Monsun, yakni adanya perbedaan yang tegas antara musim basah (*wet season*) dan musim kering (*dry season*) yang umumnya terjadi pada periode Desember. Menurut Edmund Halley (1686) dalam Chang dan Lau (1980) mengemukakan teori bahwa Monsun terjadi akibat adanya perbedaan panas antara daratan dengan lautan sebagai hasil dari *zenithal march* matahari.

Kebakaran hutan sangat dipengaruhi oleh faktor iklim diantaranya Monsun, SST dan El Nino, sehingga menyebabkan temperatur permukaan laut lebih dingin di wilayah perairan Indonesia, kebakaran hutan ini terjadi karena kekeringan di Kalimantan yang dipengaruhi El Nino dan fenomena siklon tropis yang ada di utara Indonesia sekitar Filipina sehingga di Kalimantan Tengah dan Kalimantan Timur curah hujan lebih berkurang karena ada siklon tropis (Putra *et al.* 2011).

Maret-April-Mei (MAM) merupakan bulan peralihan antara musim basah dan musim kering, sehingga jumlah *hotspot* lebih sedikit jika dibandingkan dengan musim JJA yang merupakan bulan kering sehingga bulan Juli meningkat drastis sampai bulan September, hal ini dikarenakan curah hujan mengalami penurunan, temperatur mengalami peningkatan, dan *visibility* mengalami penurunan, artinya kebakaran hutan semakin tinggi. Bulan September merupakan bulan dimana jumlah *hotspot* nya paling banyak dan meningkat drastis dari bulan Juli kemudian menurun drastis sampai bulan Desember, hal ini karena September-Oktober-November (SON) merupakan bulan peralihan antara musim kering dan basah, sedangkan bulan DJF, termasuk bulan basah, sehingga jumlah *hotspot* nya semakin menurun. Penelitian sebelumnya menurut Syaufina dan Sukmana (2008) peningkatan dan penurunan jumlah *hotspot* pada bulan-bulan tertentu berkaitan dengan peningkatan dan penurunan jumlah curah hujan. Pada saat curah hujan mengalami peningkatan yaitu mulai bulan Oktober-Desember, jumlah *hotspot* berkurang bahkan tidak dijumpai sama sekali. Sebaliknya, pada saat curah hujan rendah atau tidak terjadi hujan, maka terdapat *hotspot* dalam jumlah tinggi seperti pada bulan-bulan kering yaitu Mei-Oktober, di mana curah hujan mengalami titik terendah. Semakin banyak jumlah *hotspot*, menggambarkan intensitas kebakaran hutan akan semakin tinggi.

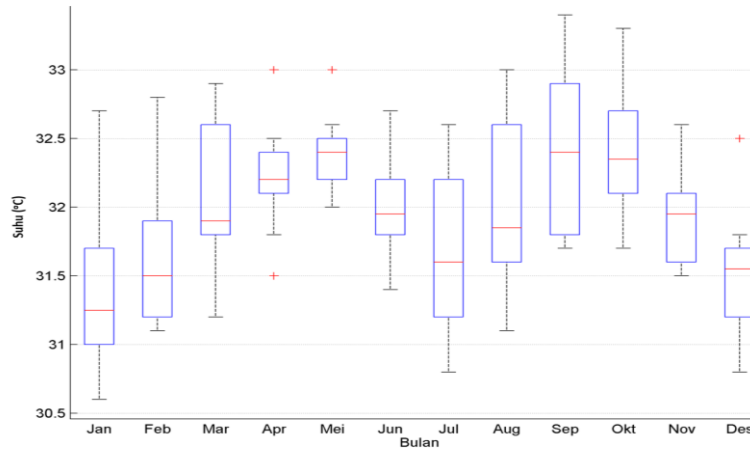
Variasi musiman *visibility* rata-rata bulanan di Kalimantan (Gambar 2), dipengaruhi oleh fenomena monsun, yakni adanya perbedaan yang tegas antara musim basah (*wet season*) dan musim kering (*dry season*) yang umumnya terjadi pada periode Desember. MAM merupakan musim peralihan antara kering dan musim basah sehingga curah hujan mengalami peningkatan, temperatur mengalami penurunan, jumlah *hotspot* mengalami penurunan, sehingga nilai *visibility* nya tinggi. Musim JJA memiliki pola *visibility* yang semakin menurun yang diakibatkan peningkatan jumlah *hotspot*, penurunan curah hujan, karena musim ini merupakan musim kering. SON merupakan bulan peralihan antara musim basah dan musim kering, sehingga pola *visibility* nya mengalami penurunan secara drastis. Pola jumlah *hotspot* bulanan di Kalimantan terdapat 1 puncak yaitu pada September, yang merupakan bulan dengan peningkatan jumlah *hotspot* diikuti dengan meningkatnya temperatur dan rendahnya nilai *visibility*. Bulan DJF merupakan bulan basah, sehingga pola *visibility* semakin meningkat, karena pada bulan ini curah hujan mengalami peningkatan sehingga intensitas kebakaran hutan semakin rendah, dan sebaliknya.



Gambar 2 Visibility rata-rata bulanan di Kalimantan

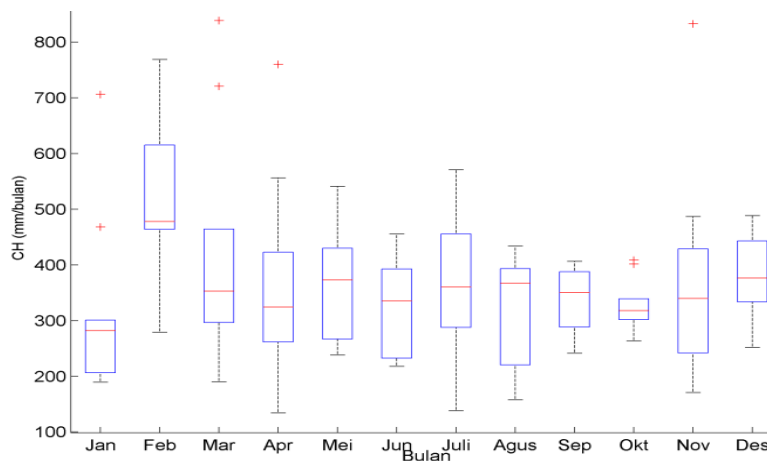
Variasi musiman temperatur rata-rata bulanan di Kalimantan (Gambar 3), dipengaruhi oleh fenomena revolusi bumi, yaitu gerakan bumi mengelilingi matahari, menyebabkan timbulnya gerak semu matahari. Gerak semu tahunan matahari merupakan pergeseran posisi matahari ke arah belahan bumi utara yang umumnya terjadi pada tanggal 22 Desember hingga 21 Juni, dari belahan bumi utara menuju ke belahan bumi selatan, yang terjadi pada tanggal 21 Juni hingga 21 Desember. Peristiwa ini dinamakan sebagai gerak semu matahari, karena sebenarnya yang bergerak bukan matahari, melainkan Bumi yang melakukan revolusi dengan sumbu rotasi yang miring (Hidayat 1978). Teori revolusi ini sangat berhubungan dengan perubahan musim di Indonesia yang memiliki musim panas (*dry season*) dan basah (*wet season*).

MAM merupakan musim peralihan antara kering dan musim basah sehingga temperatur mengalami peningkatan. Musim JJA merupakan musim kering dan memiliki pola temperatur yang fluktuatif (naik-turun-naik). SON merupakan bulan peralihan antara musim basah dan musim kering, sehingga pola temperatur mengalami penurunan secara drastis. Pola temperatur bulanan di Kalimantan terdapat 2 puncak yaitu pada bulan Mei dan September, dimana bulan tersebut bertepatan peristiwa ekuinoks. Ekuinoks adalah salah satu fenomena astronomi dimana matahari melintasi garis khatulistiwa dan secara periodik berlangsung dua kali dalam setahun, yaitu pada tanggal 20 Maret dan 23 September. Keberadaan fenomena tersebut mengakibatkan peningkatan temperatur udara (Mothe 2014). Temperatur udara merupakan salah satu faktor yang memudahkan bahan untuk terbakar (Pyne 1984). Akan tetapi menurut Murdiyarso *et al.* (2004), hal ini dapat terjadi jika kejadian kebakaran dilakukan secara sengaja (pembakaran yang tidak terkontrol) untuk *land-clearing* dalam kurun waktu tertentu.



Gambar 3 Grafik suhu rata-rata bulanan di Kalimantan

Variasi musiman rata-rata curah hujan bulanan di Kalimantan (Gambar 4), dipengaruhi oleh fenomena monsun, yakni adanya perbedaan yang tegas antara musim basah (*wet season*) dan musim kering (*dry season*) yang umumnya terjadi pada periode Desember. Curah hujan di wilayah Indonesia didominasi oleh adanya pengaruh beberapa fenomena, antara sistem Monsun Asia-Australia, El-Nino, sikulasi Timur-Barat (*Walker Circulation*) dan sirkulasi Utara-Selatan (*Hadley Circulation*) serta beberapa sirkulasi karena pengaruh lokal (McBride 2002). Variabilitas curah hujan di Indonesia sangat kompleks dan merupakan suatu bagian dari variabilitas monsun. Monsun dan pergerakan ITCZ (*intertropical convergence zone*) berkaitan dengan variasi curah hujan tahunan dan semi tahunan di Indonesia (Aldrian 2003), sedangkan fenomena El-Nino dan Dipole Mode berkaitan dengan variasi curah hujan antar tahunan di Indonesia.



Gambar 4 Rata-rata curah hujan bulanan di Kalimantan

Distribusi curah hujan bulanan diperoleh dua puncak maksimum yaitu setelah terjadinya ekuinoks atau pada saat matahari melalui ekuator. Pola curah hujan monsunial dicirikan dengan adanya perbedaan yang tegas antara musim hujan dan musim kemarau, dengan periode 12 bulanan. Dan mempunyai puncak atau maksimum pada awal dan akhir tahun. Monsun pada dasarnya disebabkan oleh efek pemanasan yang berbeda antara daratan dan lautan disekitarnya yang berubah secara musiman. Pada musim panas oleh karena sifat-sifat termalnya, benua mempunyai suhu yang lebih tinggi dari pada lautan disekitarnya (Visa 2010). Curah hujan di Kalimantan terlihat maksimum pada bulan Februari yang termasuk dalam musim DJF, dimana DJF merupakan musim basah. Sebaliknya curah hujan relatif lebih rendah di Kalimantan pada musim JJA.

Hubungan Variabel Iklim Bulanan terhadap Kejadian Kebakaran Hutan di Kalimantan

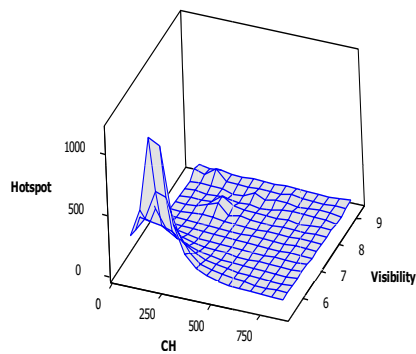
Analisis regresi linier berganda yang menunjukkan tingkat kepercayaan yang tinggi disetiap variabelnya, menunjukkan bahwa antar variabel berbeda nyata dengan P-Valuenya <0.05 , artinya setiap variabel bergantung dengan variabel yang lain serta berpengaruh nyata antara faktor iklim (temperatur, *visibility* dan curah hujan), terhadap variabel terikat dalam hal ini adalah jumlah *hotspot*. Jika dilihat tingkat kepercayaan pada hasil penelitian ini cukup besar dengan dilakukan uji statistik (uji T) dan ANOVA. Uji T digunakan untuk menguji secara parsial masing-masing variabel iklim, sedangkan ANOVA digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas (variabel iklim) secara bersama-sama terhadap variabel terikat, dalam kasus ini variabel terikatnya adalah jumlah *hotspot*.

Hotspot belum tentu menggambarkan kejadian kebakaran hutan. Akan tetapi, menurut Ivan *et al.* (1999), *hotspot* yang banyak dan menggerombol menunjukan adanya kejadian kebakaran hutan di suatu wilayah, sehingga dalam penelitian ini *hotspot* dijadikan sebagai indikator kebakaran hutan. Kondisi *visibility* tidak sepenuhnya bergantung pada jumlah *hotspot*. Menurut Ivan *et al.* (1999), kondisi *visibility* selain dipengaruhi jumlah *hotspot* juga dipengaruhi oleh kabut, dan curah hujan. Selain itu, asap yang pekat menyebabkan *visibility* menjadi rendah, dan menghalangi radiasi matahari ke permukaan tanah, sehingga tidak terjadi proses konveksi. Temperatur di lokasi asap umumnya rendah yaitu sekitar 24 °C.

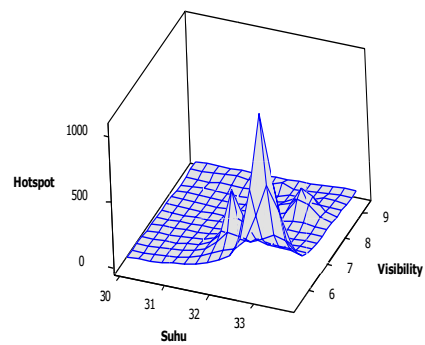
Selain *hotspot*, curah hujan merupakan unsur iklim yang memiliki korelasi yang tinggi terhadap kejadian kebakaran hutan (Syaufina dan Sukmana 2008). Curah hujan merupakan unsur iklim yang mempunyai keragaman tinggi, karena pola hujan yang bervariasi menurut skala ruang dan waktu (Syaufina dan Sukmana 2008). Pada saat curah hujan mengalami peningkatan, maka jumlah *hotspot* akan berkurang bahkan tidak ada sama sekali. Menurut Thoha (2008) menunjukkan bahwa curah hujan mempunyai pengaruh terhadap titik panas meskipun dari segi jumlah titik panas yang terpantau tidak memiliki kecenderungan yang tetap. Keberadaan titik panas akan ditemukan pada suatu daerah, bila curah hujan menurun maka titik panas akan semakin meningkat, dan sebaliknya. Hal ini menunjukkan hubungan yang negatif antara terdeteksinya titik panas dan besarnya kejadian hujan.

Curah hujan juga sangat berkaitan erat dengan adanya temperatur. Perubahan temperatur dapat menyebabkan perubahan pola curah hujan menjadi lebih banyak atau lebih sedikit yang pada akhirnya dapat mempengaruhi kebakaran hutan dan lahan. Peningkatan temperatur diakibatkan karena meningkatnya jumlah *hotspot*. Semakin tinggi temperatur maka jumlah *hotspot* akan meningkat mengakibatkan curah hujan akan menurun sehingga berpotensi meningkatkan kebakaran hutan dan lahan.

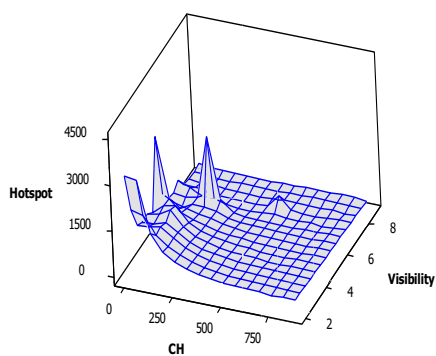
Berdasarkan uji statistik didapatkan nilai uji F di Kalimantan Timur adalah 60.63 dengan derajat bebas ($db = 118$), artinya bahwa secara bersama-sama peubah-peubah yang masuk dalam model secara signifikan mempengaruhi potensi kebakaran hutan. Hubungan antara jumlah *hotspot*, *visibility*, temperatur dan curah hujan bulanan di Kalimantan Timur (Gambar 5 dan 6) menunjukkan hubungan yang baik dan sesuai dengan teori menurut Putra dan Hadiwijoyo (2012), jika curah hujan tinggi maka jumlah *hotspot* akan semakin rendah, sebaliknya jika curah hujan rendah maka *hotspot* akan semakin banyak. Tinggi dan rendah jumlah *hotspot* tersebut dipengaruhi oleh tingginya temperatur yang terdeteksi oleh satelit akibat curah hujan yang rendah, ketika curah hujan rendah, *visibility* rendah dan temperatur tinggi maka jumlah *hotspot* meningkat sehingga potensi kebakaran hutan dan lahan semakin besar.



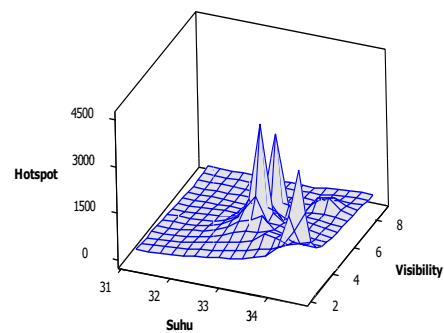
Gambar 5 Hubungan jumlah *hotspot*, *visibility* dan curah hujan bulanan di Kalimantan Timur



Gambar 6 Hubungan jumlah *hotspot*, *visibility* dan suhu bulanan di Kalimantan



Gambar 7 Hubungan jumlah *hotspot*, *visibility* dan curah hujan bulanan di Kalimantan Tengah

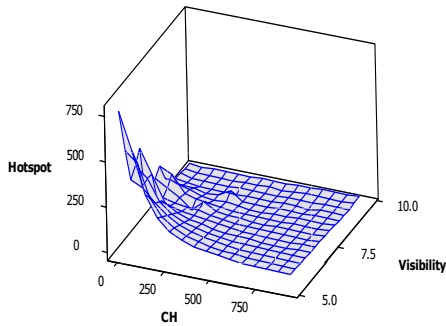


Gambar 8 Hubungan jumlah *hotspot*, *visibility* dan suhu bulanan di Kalimantan Tengah

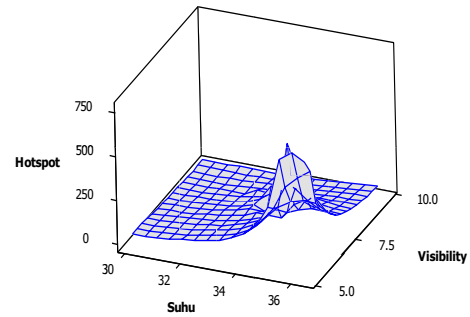
Berdasarkan uji statistik didapatkan nilai uji F di Kalimantan Selatan adalah 101.32 dengan derajat bebas ($db = 118$), artinya bahwa secara bersama-sama peubah-peubah yang masuk dalam model secara signifikan mempengaruhi kejadian kebakaran hutan. Hubungan antara jumlah *hotspot*, *visibility*, temperatur dan curah hujan bulanan di Kalimantan Selatan (Gambar 9 sampai dengan 11) menunjukkan hubungan yang baik dan sesuai dengan teori, menurut Putra dan Hadiwijoyo (2012), jika curah hujan tinggi maka jumlah *hotspot* akan semakin rendah, sebaliknya jika curah hujan rendah maka *hotspot* akan semakin banyak. Tinggi dan rendah jumlah *hotspot* tersebut dipengaruhi oleh tingginya temperatur yang terdeteksi oleh satelit akibat curah hujan yang rendah, ketika curah hujan rendah, *visibility* rendah dan temperatur tinggi maka jumlah *hotspot* meningkat sehingga potensi kebakaran hutan dan lahan semakin besar.

Berdasarkan uji statistik didapatkan nilai uji F di Kalimantan Utara adalah 81.72 dengan derajat bebas ($db = 118$), artinya bahwa secara bersama-sama peubah-peubah yang masuk dalam model secara signifikan mempengaruhi kejadian kebakaran hutan. Hubungan antara jumlah *hotspot*, *visibility*, temperatur dan curah hujan bulanan di Kalimantan Utara (Gambar 12 dan 13) menunjukkan hubungan yang kurang baik, yaitu ketika curah hujan rendah, *visibility* rendah dan temperatur tinggi maka jumlah *hotspot* meningkat sehingga potensi kebakaran hutan dan lahan semakin besar, pada kasus ini adalah di Kalimantan Utara.

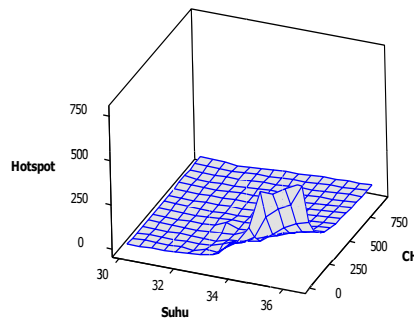
Tidak semua wilayah sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa jika curah hujan tinggi maka jumlah *hotspot* akan semakin rendah, sebaliknya jika curah hujan rendah maka jumlah *hotspot* akan semakin banyak. Tinggi dan rendah jumlah *hotspot* tersebut dipengaruhi oleh tingginya temperatur akibat curah hujan yang rendah (Putra *et al.* 2011).



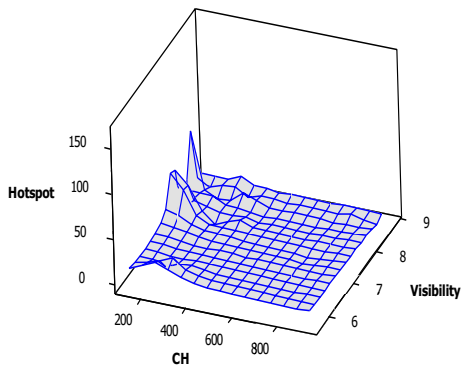
Gambar 9 Hubungan jumlah *hotspot*, CH dan *visibility* bulanan di Kalimantan Selatan



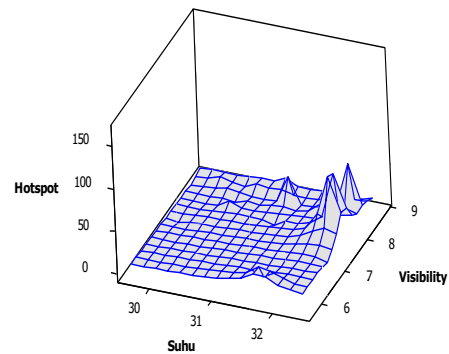
Gambar 10 Hubungan jumlah *hotspot*, *visibility* dan suhu bulanan di Kalimantan



Gambar 11 Hubungan jumlah *hotspot*, CH dan suhu bulanan di Kalimantan Selatan



Gambar 12 Hubungan jumlah *hotspot*, *visibility* dan curah hujan bulanan di Kalimantan Utara



Gambar 13 Hubungan jumlah *hotspot*, *visibility* dan suhu bulanan di Kalimantan Utara

Hubungan Variabel Iklim terhadap Kejadian Kebakaran Hutan Dasarian di Kalimantan Tengah

Korelasi antara faktor iklim dan jumlah *hotspot* sangat tinggi, ditunjukkan dengan Tabel 1 dan 2. Korelasi yang paling tinggi adalah *visibility* dengan *hotspot* yaitu sebesar -0.69, artinya terdapat keterkaitan yang tinggi antara jumlah *hotspot* dan *visibility* terhadap potensi kebakaran hutan. Nilai korelasi negatif (-), artinya memiliki sifat keterbalikan dengan data *visibility*, jika jumlah hotspot meningkat, maka *visibility* akan menurun. Walaupun tingkat kepercayaan pada hasil penelitian ini cukup rendah, R^2 *adjusted* yaitu sebesar 0.47, namun korelasi variabel iklim dengan *hotspot* diatas sangat tinggi.

Tabel 1 Koefisien korelasi dan nilai uji p parameter iklim terhadap kejadian kebakaran hutan

Source	Value	Std. Error	t	P Value > t
SUHU	0.35	0.035	9.99	<0.0001
CH	-0.30	0.03	-8.65	<0.0001
Visibility	-0.35	0.02	-17.89	<0.0001

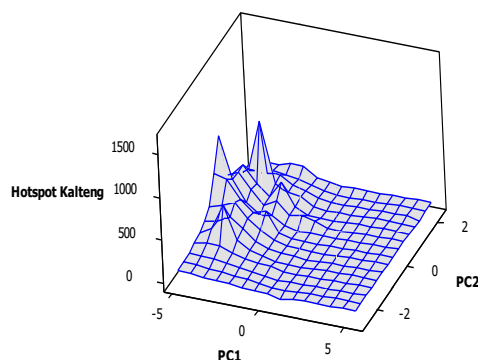
Tabel 2 Koefisien standarisasi

Variables	SUHU	CH	Visibility	Hotspot Kalteng
SUHU	1.00	-0.17	-0.22	0.28
CH	0.17	1.00	0.22	-0.35
Visibility	0.22	0.22	1.00	-0.68
Hotspot	0.28	-0.35	-0.68	1.00

Hubungan jumlah *hotspot*, *visibility*, curah hujan dan temperatur 1 dasarian tanpa pengaruh lagtime di Kalimantan Tengah yang sudah berubah menjadi model PCA (Gambar 14). Ketika temperatur tinggi, *visibility* rendah, curah hujan rendah maka jumlah *hotspot* akan meningkat sehingga potensi kebakaran hutan akan semakin besar dan sebaliknya. Tinggi dan rendah jumlah *hotspot* tersebut dipengaruhi oleh tingginya temperatur akibat curah hujan yang rendah. Sehingga ketika curah hujan rendah, *visibility* rendah dan temperatur tinggi maka jumlah *hotspot* meningkat sehingga potensi kebakaran hutan dan lahan semakin besar (Putra *et al.* 2011). Jika potensi kebakaran hutan semakin besar, maka akan berdampak meningkatnya jumlah kabut asap yang naik ke atmosfer semakin banyak, sehingga dapat menimbulkan dampak dari segala sektor, baik dari sektor kesehatan, perhubungan, ekonomi, dan sosial.

Model Estimasi setelah ditransfer kembali dari PC ke unsur-unsur semula:

$$\text{Hotspot Kalteng} = -2940 + 108.701 * \text{Temperatur} - 1.048 * \text{CH} - 69.634 * \text{Visibility}$$



Gambar 14 Hubungan jumlah *hotspot* kalteng dengan *visibility* dan ch (dalam bentuk pc) tanpa lagtime 1 dasarian di Kalimantan

Hal ini dipertegas oleh analisis statistik uji F yang menunjukkan bahwa F Hitung lebih besar dari F Tabel yang sebesar 160.09 dengan derajat bebas (db = 358). Uji F tersebut menunjukkan bahwa parameter iklim berpengaruh nyata terhadap jumlah *hotspot*. Persamaan regresi tersebut menunjukkan tingkat probabilitas yang tinggi disetiap variabel, hal ini menunjukkan bahwa antar variabel berpengaruh nyata dengan P-Valuenya < 0.05, artinya setiap variabel sangat bergantung dengan variabel yang lain. Untuk mengetahui pengaruh variabel bebas (faktor iklim) secara bersama-sama terhadap variabel terikat, dalam kasus ini variabel terikatnya adalah jumlah *hotspot*. Dilakukan analisis lanjutan yaitu *multivariate* berbasis regresi non linier atau analisis komponen utama (PCA) dan beberapa metode turunannya seperti analisis PCR (*Principal Component Regresion*). Penentuan parameter statistik dapat digunakan untuk memprediksi intensitas kebakaran hutan secara teoritis menggunakan perhitungan dengan teknik PCR. Hasilnya P-Value > T-hitung, artinya jumlah *hotspot* signifikan terhadap variabel lain.

Hubungan Variabel Iklim terhadap Kejadian Kebakaran Hutan Dasarian di Kalimantan Tengah sebagai Sistem Peringatan Dini

Korelasi *lagtime* dasarian antara faktor iklim curah hujan, temperatur dan *hotspot* di hari sebelumnya dapat memberikan informasi mengenai prediksi potensi kebakaran hutan yang diindikasikan dengan jumlah *hotspot* sangat tinggi, ditunjukkan dengan Tabel 3 dan 4. Korelasi yang paling tinggi adalah *visibility* dengan *hotspot* yaitu sebesar -0.79, artinya hubungan antara jumlah *hotspot* dan *visibility* terhadap potensi kebakaran hutan adalah tinggi. Nilai korelasi negatif (-), artinya memiliki sifat keterbalikan dengan data *visibility*, jika jumlah *hotspot* meningkat, maka *visibility* akan menurun.

Tabel 3 Koefisien korelasi dan nilai uji p parameter iklim terhadap kejadian kebakaran hutan

Source	Value	Standard error	t	P Value > t
Temperatur	0.2687	0.0365	7.3696	< 0.0001
CH	-0.346	0.0370	-9.3582	< 0.0001
Visibility	-0.329	0.0206	-15.993	< 0.0001

Tabel 4 Koefisien standarisasi

Variabel	SUHU	CH	Visibility	Hotspot Kalteng
Temperatur	1.0000	-0.1729	-0.2189	0.3134
CH	-0.1729	1.0000	0.2179	-0.2813
Visibility	-0.2189	0.2179	1.0000	-0.7942
Hotspot	0.3134	-0.2813	-0.7942	1.0000

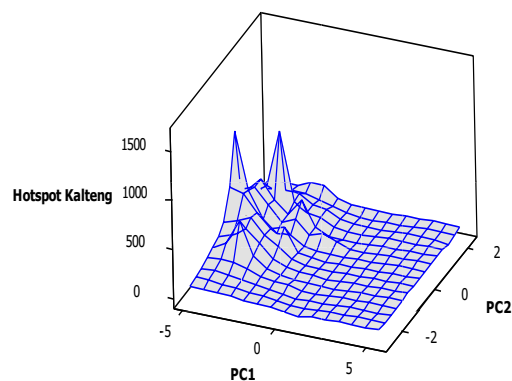
Pemberian *lagtime* bertujuan untuk membangun sistem peringatan dini (*early warning system*). Pengaruh *lagtime* di Kalimantan Tengah berdampak pada hasil uji statistik dan tingkat kepercayaan. Walaupun tingkat kepercayaan pada hasil penelitian ini cukup rendah, R^2 *adjusted* yaitu sebesar 0.42, namun korelasi variabel iklim dengan *hotspot* di atas sangat tinggi. Salah satu penyebab hubungan faktor iklim dan *hotspot* dengan menggunakan perbedaan selang waktu pengamatan. Temperatur udara rata-rata yang merepresentasikan temperatur udara selama 24 jam, sedangkan kejadian api aktif terjadi atau terdeteksi setiap saat. Jumlah *hotspot* memiliki hubungan yang lebih dekat dengan parameter meteorologis. Hal ini didukung oleh analisis regresi yang menunjukkan bahwa *visibility* lebih mewakili keragaman api aktif dibandingkan dengan parameter iklim lain.

Hubungan antara jumlah *hotspot*, *visibility* dan curah hujan dasarian di Kalimantan yang dipengaruhi *lagtime* dari masing-masing parameter curah hujan, *visibility* dan temperatur sepuluh hari sebelumnya maka jumlah *hotspot* di sepuluh hari setelahnya terdapat hubungan yang jauh lebih baik dibandingkan dengan parameter iklim dasarian yang tidak dipengaruhi *lagtime*. Hubungan jumlah *hotspot*, *visibility*, curah hujan dan temperatur dasarian yang dipengaruhi *lagtime* di Kalimantan Tengah yang sudah berubah menjadi model PCA (Gambar 15), ketika temperatur tinggi, *visibility* rendah, curah hujan rendah maka jumlah *hotspot* akan meningkat sehingga potensi kebakaran hutan akan semakin besar dan sebaliknya. Hal ini mengindikasikan bahwa *hotspot* memiliki keterkaitan erat dengan kabut asap yang menunjukkan potensi kebakaran hutan dan lahan yang sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa, jika curah hujan tinggi maka *hotspot* akan semakin rendah, sebaliknya jika curah hujan rendah maka *hotspot* akan semakin banyak. Tinggi dan rendah *hotspot* tersebut dipengaruhi oleh tingginya temperatur yang terdeteksi oleh satelit akibat curah hujan yang rendah. Ketika curah hujan rendah, *visibility* rendah dan temperatur tinggi maka jumlah *hotspot* meningkat sehingga potensi kebakaran hutan dan lahan semakin besar (Putra *et al.* 2011). Jika potensi kebakaran hutan semakin besar, maka akan berdampak meningkatnya jumlah kabut asap yang naik ke atmosfer semakin banyak, sehingga dapat menimbulkan dampak dari segala sektor, baik dari sektor kesehatan, perhubungan, ekonomi, dan sosial.

Analisis statistik uji F mempertegas bahwa F Hitung lebih besar dari F Tabel yang sebesar 129.36 dengan derajat bebas (db = 358). Uji F tersebut menunjukkan bahwa parameter iklim berpengaruh nyata terhadap jumlah *hotspot*. Persamaan regresi tersebut menunjukkan tingkat probabilitas yang tinggi di setiap variabel. Hal ini menunjukkan bahwa antar variabel berpengaruh nyata dengan P-Value nya < 0.05, artinya setiap variabel sangat bergantung dengan variabel yang lain. Untuk mengetahui pengaruh variabel bebas (faktor iklim) secara bersama-sama terhadap variabel terikat, dalam kasus ini variabel terikatnya adalah jumlah *hotspot*. Dilakukan analisis lanjutan yaitu *multivariate* berbasis regresi non linier atau analisis komponen utama (PCA) dan beberapa metode turunannya seperti analisis PCR (*principal component regresion*). Penentuan parameter statistik digunakan untuk memprediksi kebakaran hutan secara teoritis digunakan perhitungan dengan teknik PCR. Hasilnya P-Value > T-Hitung, artinya jumlah *hotspot* signifikan terhadap variabel lain.

Model Estimasi setelah ditransfer kembali dari PC ke unsur-unsur semula:

Hotspot Kalteng = - 2145 + 83.85843 * Temperatur – 1.19454*CH - 65.38901* *Visibility*



Gambar 15 Hubungan jumlah *hotspot*, *visibility* dan suhu dasarian dengan *legitime treatment* di Kalimantan Tengah

SIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah kebakaran hutan mengikuti sifat monsunal dan dipengaruhi oleh kejadian *El Nino*, *visibility* memiliki hubungan yang erat dan dapat digunakan sebagai indikator intensitas kebakaran hutan dan lahan, *hotspot* secara bersamaan memiliki hubungan yang erat dengan *visibility* dan kondisi iklim pada periode dekade yang sama, persamaan yang digunakan untuk sistem peringatan dini untuk prediksi kejadian kebakaran hutan yang diindikasikan dengan jumlah *hotspot*, disusun dari kondisi iklim satu dekade sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian E, Susanto RD. 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *Int. J. Clim.* 23:1425–1452.
- Arini EY, Hidayat R, Faqih A. 2014. Simulasi curah hujan di Kalimantan dengan regional climate model 4 (RegCM4) saat el nino southern oscillation (ENSO) [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- BAPPENAS-ADB. 1999. Causes, extent, impact and costs of 1997/1998 fires and drought: Laporan akhir lampiran 1 dan 2. Jakarta: BAPPENAS and Asian Development Bank.
- Bowen MR, Jean MB, Ivan PA, Philippe G, Anne G. 2001. Anthropogenic fires in Indonesia, a view from Sumatera. Radojevic M dan Eaton P, editor. EU dan Departemen Kehutanan dan Perkebunan Republik Indonesia.
- Chang CP, Lau KM. 1980. Northeasterly cold surges and nearequatorial disturbances over the winter MONEX area during December 1974, part II, Planetary-scale spectra, Mon. Weather. Rev. 108, 298-312.

- Choong TS. 1997. *Scorched Earth*. Asiaweek. 10 October 1997.
- Chuvieco E, Aguado I, Yebra M., Nieto H, Salas J, Martin MP, Vilar L, Martinez J, Martin S, Ibarra P, Riva JDL, Baeza J, Rodriguez F, Molina RJ, Herrera MA, Zamora R. 2009. Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*. 221(2010):46-58. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2008.11.017.
- Ferguson SA, Sandberg DV, Ottmar R. 1998. *Modelling The Effect of Landuse Change on Global Biomass Emissions*. Seattle: Forestry Sciences Laboratory.
- Field DF, van der Werf GR, Shen SSP. 2009. Human amplification of drought-induced biomass burning in Indonesia since 1960. *Nat. Geosci.* 443:185–8.
- Field RD, Wang Y, Roswintiarti O, Guswanto. 2004. A droughtbased predictor of recent haze events in western Indonesia Atmos. *Environ.* 38:1869–78.
- Fuller M. 1991. *Forest Fire an Introduction to Wildland Fire Behavior, Management, Fire Fighting and Prevention*. New York: John Willey and Sons.
- Goldammer JG. 2009. Towards The Development of a Global Early Warning System of Wildland Fire [internet]. [diunduh 2018 Feb 20]. Tersedia pada: <http://www.fire.uni-freiburg.de/fwf/EWS.htm>.
- Ivan PA, Ifran DI, Muhnandar. 1999. *Vegetation Fires in Indonesia: The Interpretation of NOAA Derived Hot-Spot Data*. Palembang: Balai Inventarisasi dan Perpetaan Hutan Wilayah II dan Kanwil Kehutanan dan Perkebunan.
- Jayantika M. 2013. Hubungan antara titik panas dengan perubahan penutupan/penggunaan lahan (studi kasus: Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Liew SC, Lim OK, Kwoh LK, Lim H. 1998. A study of the 1997 forest fire in South East Asia using SPOT quiclook mosaics. Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings. *IEEE International*. 2:879-881.
- Marlier ME, Defries R, Pennington D, Nelson E. 2015. Future fire emissions associated with projected land use change in Sumatra. *Global Change Biology*. 21:345–362. <http://doi.org/10.1111/gcb.12691>.
- Marlier ME, Defries RS, Kim PS, Koplitz SN, Jacob DJ. 2015. Fire emissions and regional air quality impacts from fires in oil palm, timber, and logging concessions in Indonesia. *Environmental Research Letters*. 10(8):1-9. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/10/8/085005>.
- Mothe RCM. 2014. Orbital spin: A new hypothesis to explain precession of equinox-the third motion of earth. *International Journal of Astronomy and Astrophysics*. 4:20-28. <http://doi.org/10.4236/ijaa.2014.41004>.
- Murdiyarso D, Lebel L, Gintings AN, Tampubolon SMH, Heil A, Wasson M. 2004. Policy responses to complex environmental problems: insights from a science–policy activity on transboundary haze from vegetation fires in Southeast Asia. *Elsevier Agriculture, Ecosystems and Environment*. (104): 47–5.
- Putra EI, Hadiwijoyo E. 2012. Pengaruh anomali sea surface tempaeratur dan curah hujan terhadap potensi kebakaran hutan dan lahan di Provinsi Riau [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Putra EI, Hayasaka H, Takahashi H, Usup A. 2011. Recent peat fire activity in the mega rice project area, Central Kalimantan, Indonesia. *Journal of Disaster Research*. 5(5):334-341.
- Pyne SJ. 1984. *Introduction to Wildland Fire: Fire Managemeent in the United States*. New York: John Willey and Sons.
- Setyaki A, Rufaida F, Ratnasari R, Sugasri A, Fauzi A, Isbandi S, Septiana C. 2013. *ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Syaufina L, Sukmana A. 2008. *Kajian Penyebab Utama Kebakaran Hutan di Daerah Tangkapan Air Danau Toba. Laporan Akhir Studi Program ITTO PD 394/06 Rev. 1 (F)*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan Konservasi Alam.
- Thoha AS. 2008. Penggunaan data hotspot untuk monitoring kebakaran hutan dan lahan Indonesia [Internet]. [diunduh 2018 Apr 17]. Tersedia pada: <http://respository.usu.ac.id>.
- Van der Werf GR, Dempewoll J, Trigg SN, Randerson JT, Kasibhatla RS, Giglio L, Murdiyarso D, Peter W, Morton DC, Collatz GJ, Polman AJ, Defries RS. 2008. Climate regulation of fire emission and deforestation in equatorial Asia. *PNAS*. 105:20350-20355.

- Visa J, Harjupa W, Sunarsih I. 2010. *Perilaku Curah Hujan di Kalimantan Barat (Pontianak, Ketapang, Putussibau, Sintang, dan Sambas)*. Bandung: Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer 1.
- Watts AC, Kobziar LN, Snyder JR. 2012. Fire reinforces structure of pondcypress (*Taxodium distichum* var. *imbricarium*) domes in a wetland landscape. *Wetlands*. 32:439-448. doi: 10.1007/s13157-012-0277-9.
- WBG. 2016. *The Cost of Fire an Economic Analysis of Indonesia's 2015 Fire Crisis*. Jakarta: Indonesia Sustainable Landscapes Knowledge Note: 1.
- World Meteorological Organization. 1990b. The First WMO Intercomparison of Visibility Measurements: Final Report (D.J. Griggs, D.W. Jones, M. Ouldrige and W.R. Sparks). Instruments and Observing Methods Report No. 41.